

风力发电机组变桨控制系统解析

喻领

张北运达风电有限公司

[摘要]随着国家对清洁能源的重点扶持，作为清洁能源的重要组成部分的风电行业获得了长足的发展。而变桨控制系统作为风力发电机组不可或缺的一个组成部分，已经投入市场使用并且有了很多种不同的结构和控制方法。本文主要介绍了一种现在现场应用比较广泛的变桨控制系统，以供大家参考。

[关键词]风电行业；变桨控制系统；风力发电机组

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.11.429

风能作为一种清洁能源越来越受到人们的关注，风力发电机组的安全稳定运行也成为一个重要研究课题，控制技术是保证风力发电机组安全稳定运行的关键技术。由于自然风速的大小、方向的随机性，及风电场中风力发电机组的分散布置，对控制系统和控制技术提出了更高的要求。

风力发电机组的控制系统是综合性的系统。尤其是并网运行的风力发电机组，不仅要监视电网、风况和机组的运行数据，对机组进行并网脱网控制，还要根据风速和风向变化对机组进行优化控制。现代风力发电机组一般采用离散型微机控制。将具有各种不同功能的控制模块放置在现场的开关柜、机舱控制柜和塔基控柜，与主控制器相互通信。现场的风向标、风速仪、风轮转速，发电机和电网的电压、频率、电流，发电机和齿轮箱温度，机舱振动，电缆扭缆等信号经数/模转换后输送给现场微机，由微机发出指令。

近年来，风力发电的主流机型主要有3种：即定桨距失速型机组、全桨叶变距型机组和变速型机组。3种机型从风力机和发电机配置上各有不同，在控制系统功能和控制技术上不断改进。控制技术从最初的定桨距恒速恒频控制发展到变桨距恒速恒频控制，再到后来的变桨距变速恒频技术。

1. 风力发电机组构成

风力发电机组主要包括两大组成部分：主控控制系统和变桨控制系统。主控控制系统主要是控制整台风机的运转，而变桨控制系统则是专门针对不同的工况下对桨叶进行精确的控制，以实现桨叶的正常动作和紧急收桨。一个完整的变桨控制系统包括的主要部件有驱动器和控制器（有的变桨控制系统只有驱动器，没有控制器）、变桨电机、备用电源等。每种变桨控制系统在其结构上都有其独到之处，因此为了更好的了解变桨控制系统，必须对其结构组成有充分的了解。

2. 变桨系统工作原理

变桨系统的工作原理如图1所示，机舱主处理器监测风速、转子转速和发电机电源驱动叶片转动角度。其中发电机电源模块通过逻辑计算给叶片的伺服驱动器指令，驱动叶片转动。每个叶片都有自己的变桨驱动电机，根据指令通过编码器反馈信号给主处理器，当叶片转到相应的角度后，驱动

电机得到停止信号带动叶片停止转动。当紧急状况时，主处理器失效由UPS（后备电源）执行紧急顺桨，将叶片转到安全位置。

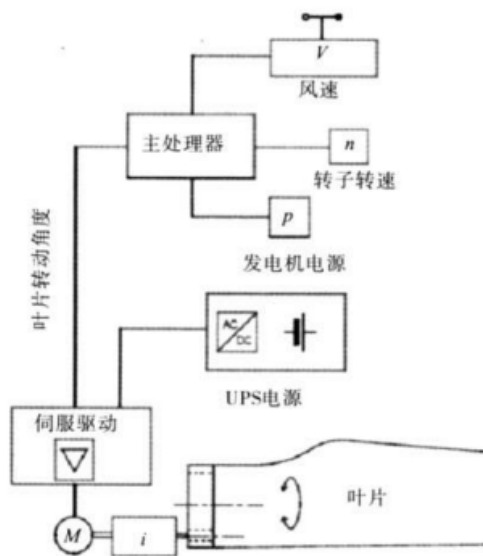


图1 变桨系统工作原理示意图

3. 丹控变桨控制系统结构解析

丹控公司成立于1933年的丹麦，在风电行业初始就已经在做风力发电机组的设计，变桨控制系统的整体设计已经处于世界先进水平，尤其是其变桨控制器及驱动器的研究。

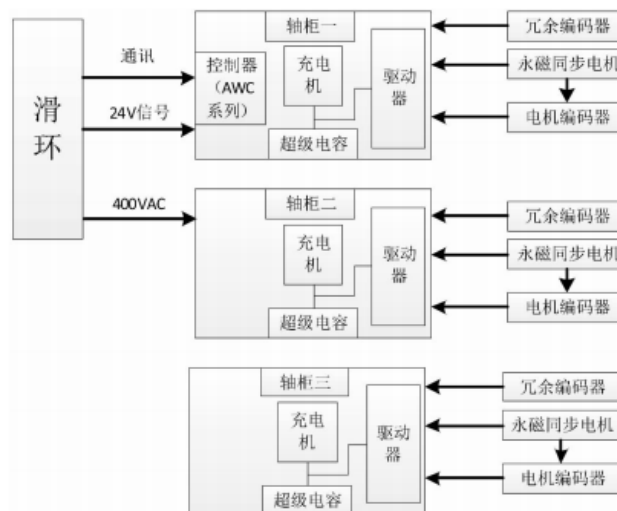


图2 丹控变桨控制系统构成图

丹控变桨控制系统的系统构成如图2所示，它采用了三柜体结构，将主控制器放在轴控柜一内，即使用轴控柜一作为变桨系统的主控制柜。此控制系统对三个桨叶的控制完全一样，都是采用伺服驱动器控制交流电机带动桨叶转动，来达到对三个桨叶速度以及位置的精确控制。当外部400V供电丢失时，使用超级电容作为后备电源为伺服驱动器供电，完成紧急收桨，确保风机的安全

轴柜一内的变桨主控制器采用的是丹控先进风力发电机组控制器（AdvancedWindTurbineController），简称AWC。在整个变桨系统中控制器的主要作用是主控制系统的通讯以及和变桨驱动器的通讯。除此之外，驱动器中的看门狗继电器还串联在了变桨安全链中。软件线程超时、控制器外部/内部（24VDC）供电掉电、下载程序、控制器硬件失效中的一种或多种工况出现时，会导致变桨安全链断开，此时变桨系统本身立即执行相应动作：三个叶片同时紧急收桨，直到91度限位开关触发为止。

变桨驱动器采用的是集成电机驱动（Integrated Motor Drive），简称IMD。因变桨控制器主要用于和主控以及驱动器的连接，所以变桨驱动器的集成度非常高。电机编码器信号、冗余编码器信号、电机温度信号、电机制动信号、变桨安全链信号、制动电阻信号、充电机信号等等变桨控制系统他需要采集的信号全都集成在驱动器中，已达到控制系统安全运行的目的。当系统产生报警或者故障信号时，驱动器能及时、准确的发生相应，控制相应的器件，时风机安全收桨或停机。整个变桨系统使用了三个变桨柜，每个控制柜中都有一台驱动器，它们之间互不影响，都能单独控制一个桨叶完成相应的动作，有很好的独立性。

当系统的外部400V供电丢失，变桨系统需要备用电源提供能量来完成紧急收桨，丹控变桨系统采用的超级电容组作为备用电源。超级电容组是采用两组五个9.6F90V的电容串联，然后把两组串联好的电容再并联的方法组合到一起的。这种组合方法可以明显的增大超级电容组的存储能量，使其有充足的能量完成变桨系统的紧急收桨。

变桨系统主要目的就是为了控制桨叶的速度、位置，使在风速合适时风机发电，在风速过大时风机安全收桨。而为了拖动桨叶运动，现在普遍使用的都是变桨电机。丹控变桨系统采用的就是同步电机。同步电机，和感应电机一样都是现在使用非常广泛的一种交流电机。特点是：稳态运行时，转子的转速和电网频率之间有不变得关系。若电网的频率不变，则稳态时同步电机的转速恒为常数而与负载的大小无关。当系统需要桨叶转动时，驱动器就会发出指令来控制变桨电机，使桨叶达到预定位置，完成主控发出的指令或者紧急状态时变桨系统的正常响应。

丹控变桨控制系统的安全链是其系统中的一大特色。变桨安全链通过滑环与主控系统的安全链串联在一起，作为主控安全链的一部分，成了风机主控系统安全链在变桨位置处的安全限制条件。丹控变桨系统的安全链独立于变桨系统的软件系统，由变桨控制器故障输出、变桨系统硬件故障、三个轴的急停按钮、三个轴的维护开关、三个轴的变频器故障信号总共十一个常闭触点串联而成，然后通过滑环接入主控系统。这就是变桨安全链的整个硬件组成。

其最大的特点就是采用安全继电器把以上信号串联在了一起。我们所说的安全继电器，并不是从来不发生事故的继电器，而是在发生故障时能做出有效的动作，它具有强制导向接电结构，万一发生接点溶结现象时也能确保系统的安全。当紧急停止解除时，使系统不能出现突然再启动；万一系统的安全电路发生故障时，可以使促使桨叶安全收桨，确保风机的安全。

冗余技术的采用是丹控变桨控制系统的另一大特色。冗余是指为增加系统的可靠性，而采取两套或两套以上相同、相对独立配置的设计连接组成的系统。通过提供系统运行所需的所有关键组件的冗余的方法，达到容错能力的系统或者系统的结构，当系统发生故障时，冗余配置的部件介入并承担故障部件的工作，由此减少系统的故障时间。测量桨叶位置和速度的电机编码器和冗余编码器，测量电机温度的PT100温度传感器和KTY温度传感器，给变桨系统提供电能的外部400V供电和作为备用电源的超级电容组等，在系统中的很多结构中都应用到了冗余技术，有效的较少了系统的故障率，提高了系统的稳定性。

结语

本文主要介绍了丹控变桨控制系统的结构组成，并对其几个重要组成部分进行了重点解析。除此之外，还重点解析了丹控变桨控制系统的两大特色：安全链和冗余技术的应用。希望这些内容可以在大家变桨系统的学习过程中带来帮助。

参考文献

- [1] 夏毅琴. 风力发电机组及其控制系统[J]. 电气技术, 2009(8): 62-64.
- [2] 李强, 姚兴佳, 陈雷. 兆瓦级风电机组变桨距机构分析[J]. 沈阳工业大学学报, 2004(2): 146~148.
- [3] 何玉林, 苏东旭, 黄帅, 等. 变速变桨风力发电机组的桨距控制及载荷优化[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 95-99.
- [4] 王文亮, 葛宝明, 毕大强. 储能型直驱永磁同步风力发电控制系统[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(14): 43-48.